

## Adaptive digital pre-distortion method and device for wideband transmitter

**Publication number:** CN1335699 (A)

**Publication date:** 2002-02-13

**Inventor(s):** YANG ZHENJUN [CN]; YAN HONGHUI [CN]

**Applicant(s):** HUAWEI TECH CO LTD [CN]

**Classification:**


**- international:** *H04B7/005; H03F1/32; H04L25/03; H04L25/49; H04L27/36; H04B7/005; H03F1/32; H04L25/03; H04L25/49; H04L27/34; (IPC1-7): H04L25/49*

**- European:** H04L27/36G1A; H03F1/32P2

**Application number:** CN20001019493 20000720

**Priority number(s):** CN20001019493 20000720

**Also published as:**

 CN1166138 (C)  
 WO0211379 (A1)  
 US2003104794 (A1)  
 RU2264037 (C2)  
 EP1313278 (A1)

more >>

### Abstract of CN 1335699 (A)

The adaptive digital pre-distortion method includes the following steps: utilizing input baseband signal to generate the address for looking up LUT list; looking up LUT list to obtain corresponding pre-distortion gain or parameter, which is then multiplied with input signal to obtain correction signal; measuring the power spectrum of feedback signal; and regulating pre-distortion digital parameter. Through the non-linear treatment of the signal opposite to that in the signal emitting passage, the whole signal emitting passage is made to exhibit linear characteristic. In addition, in the pre-distortion system, the adaptive algorithm regulates dynamically the pre-distortion parameter to track the non-linear characteristic in the signal emitting passage for optimal compensation.



---

Data supplied from the **esp@cenet** database — Worldwide

## [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00119493.3

[43] 公开日 2002 年 2 月 13 日

[11] 公开号 CN 1335699A

[22] 申请日 2000.7.20 [21] 申请号 00119493.3

[71] 申请人 华为技术有限公司

地址 518057 广东省深圳市科技园科发路华为用  
户服务中心大厦

[72] 发明人 杨振钧 严红辉

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

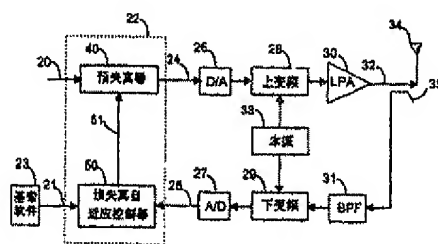
代理人 左一平

权利要求书 4 页 说明书 9 页 附图页数 6 页

[54] 发明名称 一种宽带发射机的自适应数字预失真方法和装置

[57] 摘要

一种宽带发射机的自适应数字预失真方法和装置,该方法包括下列步骤:利用输入的基带信号生成查找 LUT 表的地址;查找 LUT 表得到相应的预失真增益,即预失真参数,与输入信号相乘,得到矫正信号;对反馈信号功率谱进行测量;调整数字预失真参数。通过对信号进行与发信通道相反的非线性处理,使整个发信通道呈现线性的特性。同时,预失真系统还通过自适应算法动态地调整预失真参数,以跟踪发信通道非线性特性的变化,使预失真系统随时达到最优的补偿效果。



ISSN 1008-4274

1、一种宽带发射机的自适应数字预失真方法，用于矫正宽带发信通道非线性特性的自适应数字预失真，其特征在于，所述方法包括下列步骤：

- a、利用输入的基带信号生成查找LUT表的地址；
- b、查找LUT表得到相应的预失真增益，即预失真参数，与输入信号相乘，得到矫正信号；
- c、矫正后的信号通过发信道输出，该输出信号的一部分被反馈到预失真系统的预失真参数自适应控制器；
- d、预失真参数自适应控制器根据基带提供的有关信息，通过数字信号处理的方法计算反馈信号的功率谱；
- e、预失真参数自适应控制器根据反馈信号功率谱的变化，采用自适应算法动态地调整预失真参数。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，利用基带提供的各频点每个时隙的功率控制等级选择多载波信号幅度统计同分布的时隙，预失真参数自适应控制器仅比较这些时隙的功率谱，以确保计算的反馈信号功率谱相互之间的可比性。

3、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述的d步骤中计算反馈信号功率谱的方法是：利用基带软件向预失真参数自适应控制器发送有关多载波信号频点、各频点每个时隙的功率控制等级参数，预失真参数自适应控制器利用这些信息对反馈信号功率谱进行测量计算。

4、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述的e步骤中采用自适应算法动态地调整数字预失真参数的方法是：将功放输出信号的带外能量作为目标函数，将LUT表的表项作为目标函数的参数，通过迭代算法寻找LUT表中各表项的最优值，使目标函数值即输出信号的带外能量达到最小，从而调整数字预失真参数。

5、根据权利要求4所述的方法，其特征在于，所述的输出信号的带外能量是通过功率谱估计的方法求出。

6、根据权利要求4所述的方法，其特征在于，所述的利用迭代算法寻找

最优值的方法步骤是:

- a、在N维空间选取一个初始点, 以它的坐标形成LUT表, 测量输出信号的带外能量;
- b、在以初始点为中心, 以一定长度为半径的N维空间范围内作随机搜索n次, 找出其中的最优点;
- c、以最优点为参照, 作初始点的反射点;
- d、测量反射点所对应的目标函数值, 如果大于最优点对应的目标函数值, 则将反射点在原来的反射方向上回退一些; 如果多次压缩后仍无法找到比最优点更好的点, 则重新以初始点为中心搜索;
- e、继续以上的步骤, 直到反射点和最优点对应的目标函数相对误差小于一个预先设定的极小值;
- f、在连续搜索成功时加大 $A_0$ , 而在连续失败时将 $A_0$ 减小;
- g、如果迭代寻找LUT表中所有N个表项的最优值不现实, 可以取其中具有代表性的M个关键项 ( $M \ll N$ ) 作为参数进行以上迭代过程, 其它表项的取值则利用这M个关键项的最优值通过插值的方法获得。

7、根据权利要求4所述的方法, 其特征在于, 所述的利用迭代算法寻找最优值的方法步骤是:

- a、在N维空间选取N+1个初始点, 以它们的坐标形成LUT表, 分别测量N+1次输出信号的带外能量;
- b、根据带外能量的取值确定N+1个点中间的最优点、最差点和稍差点;
- c、以除最差点以外的所有点为参照, 作最差点的反射点;
- d、测量反射点所对应的目标函数值, 如果大于稍差点对应的目标函数值, 则将反射点在原来的反射方向上回退一些;
- e、如果压缩后的反射点对应的目标函数值仍大于稍差点对应的目标函数值, 则将除最优点以外所有的点与最优点的之间的距离缩小一半;
- f、继续以上的步骤, 直到最优点和最差点对应的目标函数相对误差小于一个预先设定的极小值;
- g、如果迭代寻找LUT表中所有N个表项的最优值不现实, 可以取其中具有代表性的M个关键项 ( $M \ll N$ ) 作为参数进行以上迭代过程, 其它表项的取

值则利用这M个关键项的最优值通过插值的方法获得。

8、根据权利要求1或4所述的方法，其特征在于，所述的LUT表为两个，采用乒乓结构，当数字预失真器在读取一张LUT表的同时，预失真参数自适应控制器更改另一张LUT表，在自适应算法迭代过程中需要使用新的预失真参数时，将两个LUT表进行切换。

9、根据权利要求8所述的方法，其特征在于，在时分多址系统中，LUT表的切换时间选择在对输出信号影响最小的时候，即时隙之间的保护时间内。

10、一种宽带发射机的自适应数字预失真装置，包括数字预失真器、D/A转换器、上变频器、功放、定向耦合器、带通滤波器、下变频器、A/D转换器直到预失真参数自适应控制器的整个环路；经多路合成的多载波数字信号通过数字预失真器输出经预失真矫正后的信号，经过D/A转换器、上变频器，最后由功放放大为大功率信号，经天线发送出去；功放输出信号的一部分通过一个定向耦合器输入到反馈回路中，经过下变频器和A/D转换器，成为与采样速率相同的反馈信号，输入到预失真参数自适应控制器中；通过对反馈采样信号进行数字信号处理以估计其功率谱，然后根据该功率谱中的带外能量产生参数更新信号，以调整预失真器的预失真参数。

11、根据权利要求10所述的装置，其特征在于，所述的数字预失真器模块包括：一地址生成器、一LUT表、以及一乘法器；地址生成器利用数字采样信号的幅度生成查表地址，通过查找LUT表，得到预失真增益，即预失真参数值，通过一个乘法器与输入信号相乘得到预失真后的信号。

12、根据权利要求11所述的装置，其特征在于，所述的LUT表是一个存储器，用于存储数字预失真增益，即预失真参数数值。

13、根据权利要求11所述的装置，其特征在于，所述的存储器中开辟两张乒乓结构的LUT表，分别用于预失真处理和参数自适应迭代过程。

14、根据权利要求10所述的装置，其特征在于，所述的反馈回路包括定向耦合器、带通滤波器、下变频器和A/D转换器，为参数自适应控制器提供反馈信号。

15、根据权利要求10所述的装置，其特征在于，所述的预失真参数自适

应控制器是一个高速可编程器件，包括一功率谱估计模块和一是自适应算法模块，通过数字信号处理，测量反馈信号的带外能量，再根据测量结果，进行自适应运算，调整预失真参数。

## 一种宽带发射机的自适应数字预失真方法和装置

本发明涉及一种适用于宽带无线发射机的自适应数字预失真系统，尤其涉及一种适用于各种需要改善系统线性特性的数字通信系统的一种宽带发射机的自适应数字预失真方法和装置。

近年来，无线通信在全世界范围内蓬勃发展。同时无线通信领域也正面临着一系列难以解决的问题，如各种通信体制并存、各种通信标准激烈竞争以及无线频率资源紧张等。为了解决这些问题，软件无线电应运而生，它的基本思想在于，将数字化向射频前端靠近，由软件来实现各种无线通信的基本功能单元。这样，仅通过改变一个通信系统的软件就可以非常方便地支持另外一种通信体制。基于软件无线电的通信系统是无线通信发展的一个必然趋势，而宽带、超线性和大动态又是这种系统始终追求的一个目标。

为了更加有效地利用频谱资源，许多通信系统都采用频谱利用率较高的调制方式，例如SSB、QPSK、8PSK等等。这些调制方式不仅对载波的相位进行调制，同时也调制了载波的幅度，因此这些调制方式会产生有较大的峰平比的非恒包络调制信号。而对于GMSK这样的恒包络调制，如果使用了多载波技术，利用信号组合器将多个载波的信号组合成一个宽带信号，也会产生较大的包络起伏。较大的峰平比对宽带发信通道尤其是数模转换器（DAC）、宽带发信机（BTX）和宽带功放（BPA）部分提出了更高的线性要求。这是因为半导体器件在大信号下具有不可避免的非线性特性，当宽带发信机工作在非线性区时，会产生严重的互调分量，在带内就可以造成信号间的相互干扰。

如何提高系统的线性度是宽带系统期待解决的一个共同问题。为了解决线性度的问题，可以采用三种方法：一种方法是选择合适的超线性半导体器件，设计出符合性能要求的宽带发信机，不过这种办法花费巨大，且技术难度很高；第二种方法是将整个发射通道进行功率回退，使发射通道工作在线性区，这种方法大大降低了系统的工作效率；第三种方法是采用线性化技

术，即采用适当的外围电路，对发信通道的非线性特性进行校正，从而在电路整体上呈现对输入信号的线性放大效果，这种方法避开了难度很大的器件制造技术，采用成本相对较低的器件，不但形式多样，而且器件的选择也较灵活，因此在目前来看最适合的方法。而线性化方法中，又以预失真技术最为简单有效。在预失真系统中，信号首先通过一个预失真器进行矫正，然后送到功放进行放大输出。预失真器产生的信号失真特性与发信通道的失真特性相反，从而可以抵消失真分量，得到无失真的信号输出。

目前多数自适应数字预失真方法针适用的带宽都比较窄，一个通用的窄带预失真系统如图1所示。基带信号通过预失真器进行矫正，然后经过正交调制、D/A转换、上变频，最后由功放放大，经天线发送出去；同时，功放输出信号的一部分则通过一个耦合器反馈，经过带通滤波器、下变频、A/D转换、正交解调，转化为基带信号，送到一个误差处理器，误差处理器的另一个输入则是延时的基带输入信号，通过比较这两个信号之差，更新预失真器的参数，实现自适应功能。

在宽带系统中，发送通道对不同频率信号的延时不能近似为一样的，用简单的延时方法比较输入输出信号的差别在宽带系统中不再适用。因此需要一种预失真方法，用以补偿宽带发信通道的非线性。

本发明的目的是为了提供一种适用但不局限于宽带GSM基站发信通道非线性补偿的自适应数字预失真方法和装置，通过对信号进行与发信通道相反的非线性处理，使整个发信通道呈现线性的特性。同时，预失真系统还能够根据发信通道非线性特性的慢变化，通过自适应算法调整预失真参数。

实现本发明目的的技术方案是：

一种宽带发射机的自适应数字预失真方法，用于矫正宽带发信通道非线性特性的自适应数字预失真，其特点是，所述方法包括下列步骤：

a、利用输入的基带信号生成查找LUT（Look-Up Table）表（以下称LUT表）的地址；

b、查找LUT表得到相应的预失真增益，即预失真参数，与输入信号相乘，得到矫正信号；

c、矫正后的信号通过发信道输出，该输出信号的一部分被反馈到预失真



系统的预失真参数自适应控制器;

d、预失真参数自适应控制器根据基带提供的有关信息,通过数字信号处理的方法计算反馈信号的功率谱;

e、预失真参数自适应控制器根据反馈信号功率谱的变化,采用自适应算法动态地调整预失真参数。

上述方法中,利用基带提供的各频点每个时隙的功率控制等级选择多载波信号幅度统计同分布的时隙,预失真参数自适应控制器仅比较这些时隙的功率谱,以确保测量的反馈信号功率谱相互之间的可比性。

上述方法中,所述的测量反馈信号功率谱的方法是:利用基带软件向预失真参数自适应控制器发送有关多载波信号频点、各频点每个时隙的功率控制等级参数,预失真参数自适应控制器能够利用这些信息对反馈信号功率谱进行计算。

上述方法中,所述的调整数字预失真参数的方法是:将功放输出信号的带外能量作为目标函数,将LUT表的表项作为目标函数的参数,通过迭代算法寻找LUT表中各表项的最优值,使目标函数值即输出信号的带外能量达到最小,从而调整数字预失真参数。

上述方法中,所述的输出信号的带外能量是通过功率谱估计的方法求出,作为目标函数值。

上述方法中,所述的利用迭代算法寻找最优值的方法步骤是:

a、在N维空间选取一个初始点,以它的坐标形成LUT表,测量输出信号的带外能量;

b、在以初始点为中心,以一定长度为半径的N维空间范围内作随机搜索n次,找出其中的最优点;

c、以最优点为参照,作初始点的反射点;

d、测量反射点所对应的目标函数值,如果大于最优点对应的目标函数值,则将反射点在原来的反射方向上回退一些;如果多次压缩后仍无法找到比最优点更好的点,则重新以初始点为中心搜索;

e、继续以上的步骤,直到反射点和最优点对应的目标函数相对误差小于一个预先设定的极小值;

f、在连续搜索成功时加大 $A_0$ ，而在连续失败时将 $A_0$ 减小；

g、如果迭代寻找LUT表中所有N个表项的最优值不现实，可以取其中具有代表性的M个关键项（ $M \ll N$ ）作为参数进行以上迭代过程，其它表项的取值则利用这M个关键项的最优值通过插值的方法获得。

上述方法中，所述的利用迭代算法寻找最优值的方法步骤是：

a、在N维空间选取N+1个初始点，以它们的坐标形成LUT表，分别测量N+1次输出信号的带外能量；

b、根据带外能量的取值确定N+1个点中间的最优点、最差点和稍差点；

c、以除最差点以外的所有点为参照，作最差点的反射点；

d、测量反射点所对应的目标函数值，如果大于稍差点对应的目标函数值，则将反射点在原来的反射方向上回退一些；

e、如果压缩后的反射点对应的目标函数值仍大于稍差点对应的目标函数值，则将除最优点以外所有的点与最优点的之间的距离缩小一半；

f、继续以上的步骤，直到最优点和最差点对应的目标函数相对误差小于一个预先设定的极小值；

g、如果迭代寻找LUT表中所有N个表项的最优值不现实，可以取其中具有代表性的M个关键项（ $M \ll N$ ）作为参数进行以上迭代过程，其它表项的取值则利用这M个关键项的最优值通过插值的方法获得。

上述方法中，所述的LUT表为两个，采用乒乓结构，当数字预失真器在读取一张LUT表的同时，预失真参数自适应控制器更改另一张LUT表，在自适应算法迭代过程中需要使用新的预失真参数时，将两个LUT表进行切换。

上述方法中，在时分多址系统中，LUT表的切换时间选择在对输出信号影响最小的时候，即时隙之间的保护时间内。

一种宽带发射机的自适应数字预失真的装置，其特点是，包括数字预失真器、D/A转换器、上变频器、功放、定向耦合器、带通滤波器、下变频器、A/D转换器直到预失真参数自适应控制器的整个环路；经多路合成的多载波数字信号通过数字预失真器输出经预失真矫正后的信号，经过D/A转换器、上变频器，最后由功放放大为大功率信号，经天线发送出去；功放输出信号的一部分通过一个定向耦合器输入到反馈回路中，经过下变频器和A/D转换器，成

为与采样速率相同的反馈信号，输入到预失真参数自适应控制器中；通过对反馈采样信号进行数字信号处理以估计其功率谱，然后根据该功率谱中的带外能量产生参数更新信号，以调整预失真器的预失真参数。

上述装置中，所述的数字预失真器模块包括：一地址生成器、一LUT表、以及一乘法器；地址生成器利用数字采样信号的幅度生成查表地址，通过查找LUT表，得到预失真增益，即预失真参数值，通过一个乘法器与输入信号相乘得到预失真后的信号。

上述装置中，所述的LUT表是一个存储器，用于存储数字预失真增益，即预失真参数数值。

上述装置中，所述的存储器中开辟两张乒乓结构的LUT表，分别用于预失真处理和参数自适应迭代过程。

上述装置中，所述的反馈回路包括定向耦合器、带通滤波器、下变频器 and A/D转换器，为参数自适应控制器提供反馈信号。

上述装置中，所述的预失真参数自适应控制器是一个高速可编程器件，包括一功率谱估计模块和一是自适应算法模块，通过数字信号处理，测量反馈信号的带外能量，再根据测量结果，进行自适应运算，调整预失真参数。

由于本发明采用了以上的技术方案，包括采用了适合宽带系统的预失真参数自适应迭代算法，因此与已有技术窄带预失真方案相比，本发明不需要比较延时的基带输入信号和解调后的输出反馈信号，甚至不需要反馈回路中的正交解调模块，简化了硬件设计，也避免了由于正交解调所引起的额外误差。

本发明的具体性能、特征由以下的实施例及其附图进一步给出。

图1是一个典型的窄带预失真系统结构。

图2表示本发明一个实施例的结构框图。

图3表示本发明实施例的数字预失真模块结构。

图4表示本发明实施例的预失真参数自适应控制器模块结构。

图5表示本发明实施例的自适应迭代算法流程图。

图6表示本发明实施例的另一种自适应迭代算法流程图。

本发明一种宽带发射机的自适应数字预失真方法，用于矫正宽带发信通

道非线性特性的自适应数字预失真，其特点是，所述方法包括下列步骤：

- a、利用输入的基带信号生成查找LUT (Look-Up Table) 表的地址；
- b、查找LUT表得到相应的预失真增益，即预失真参数，与输入信号相乘，得到矫正信号；
- c、矫正后的信号通过发信道输出，该输出信号的一部分被反馈到预失真系统的预失真参数自适应控制器；
- d、预失真参数自适应控制器根据基带提供的有关信息，通过数字信号处理的方法计算反馈信号的功率谱；
- e、预失真参数自适应控制器根据反馈信号功率谱的变化，采用自适应算法动态地调整预失真参数。

上述方法中，利用基带提供的各频点每个时隙的功率控制等级选择多载波信号幅度统计同分布的时隙，预失真参数自适应控制器仅比较这些时隙的功率谱，以确保测量的反馈信号功率谱相互之间的可比性。

图2是本发明一个实施例的结构框图，经多路合成的多载波数字信号20通过数字预失真器40，输出经预失真矫正后的信号24，信号24经过D/A转换器26、上变频器28，最后由功放30放大为大功率信号32，经天线34发送出去。数字预失真是一个非线性变换的过程，在理想的情况下，数字预失真的非线性特性与传输通道的非线性的相反，因此输出信号32应该与输入信号20应该是一个线性的关系，表现为带外能量辐射最小；另外还要求数字信号24与数字信号20的采样速率和载波频率相同。

在工作时发信通道的非线性特性会随着工作条件和环境参数变化而变化，这就要求数字预失真器40的参数能够自适应地进行更新。为此功放输出信号32的一部分通过一个定向耦合器35输入到反馈回路中，经过下变频器29和A/D转换器27，成为与20采样速率相同的反馈信号25，输入到预失真参数自适应控制器50中。预失真参数自适应控制器50通过对反馈采样信号25进行数字信号处理以估计25的功率谱，然后根据功率谱中的带外能量产生参数更新信号51，以更新预失真器40的预失真参数，使整个发信通道保持线性的传递特性。为了正确地对25的带外功率进行测量并确保各次带外功率测量之间的可比性，预失真参数自适应控制器50还需要从基带软件模块23获得宽带信号

20的多载波频点、各频点每个时隙的功率控制等级等信息21。

图3是本发明实施例的数字预失真模块40的结构框图。该数字预失真模块包括：一地址生成器41、一LUT表44、以及一乘法器45。其中LUT表（Look-Up Table）44为数字预失真器40的核心，该表放在系统的存储器中，存放了与发信通道非线性函数有关的采样值。地址生成器41利用数字采样信号20的幅度生成查表地址42，通过41查找LUT表，得到与20相对应的预失真增益，即预失真参数值46，通过一个乘法器45与输入信号20相乘得到预失真后的信号24。数字预失真模块40还周期性地接收从预失真参数自适应控制器送来的LUT表更新信号51，并对LUT表44的各个表项进行修改。在GSM系统的一个实施例中，为了确保LUT表的修改不影响发送通道的正常工作，将LUT表44设计为两张乒乓结构的LUT表，预失真器40读取一张LUT表的同时，控制器50通过更新信号51更改另一张LUT表，在需要使用新的预失真参数时，只需将两个LUT表进行切换即可，切换的时间选择在GSM信号相邻时隙中间的保护阶段。

图4为本发明实施例的预失真参数自适应控制器模块结构。预失真参数控制器50有两个组成部分，一个是功率谱估计模块54，其功能是通过数字信号处理功能，测量反馈信号25的带外能量；一个是自适应算法模块52，用于根据功率谱估计模块54输出的测量结果53，决定下一步迭代使用的预失真参数，并产生参数更新命令51，更改LUT表44的表项。预失真参数控制器50的作用就是跟踪发信通道非线性特性的变化，并相应地更改存放于LUT表44中的预失真参数，使整个通道的传递特性接近线性。

为了确保功率谱估计模块54测量结果之间的可比较性，需要选择具有相同信号幅度分布的时隙进行带外能量的测量和比较。因此，功率谱估计模块54还从宽带GSM基站的基带软件获得信号20的相关信息21，包括多载波信号20的频点分布、各载频每个时隙的功率控制等级等。功率谱估计模块54根据信息21，确定信号幅度具有相同分布的时隙，仅对这些时隙进行功率谱的测量。

自适应算法模块52完成预失真参数最优值的迭代搜索功能。设LUT表44共有N个参数，具体迭代算法（参照图5）如下：

将N个参数看作N维空间中一个点X的坐标，将反馈信号25的带外能量看作迭代的目标函数。首先，选择初始点 $X_0$ ，计算该点的目标函数值，即利用该点的N维坐标更新LUT表44，求反馈信号25的带外能量；

在以 $X_0$ 为中心，以 $A_0$ 为半径的N维空间范围内作随机搜索n次，要求每次测量到的目标函数值比 $X_0$ 对应的目标函数值低（如果搜索失败则按反方向搜索一次），找出其中的最优优点 $X_c$ （即目标函数值最小的点）。将 $X_0$ 点相对于 $X_c$ 点作一次反射，得到新的点 $X_1$ ，公式如下：

$$X_1 = 2X_c - X_0$$

计算 $X_1$ 所对应的目标函数值，如果比 $X_c$ 对应的目标函数值高，证明 $X_1$ 点取得太远了，需要压缩，即要在 $X_0$ 和 $X_1$ 的连线方向上后退一些，直到 $X_1$ 对应的目标函数值小于 $X_c$ 对应的目标函数值。如果压缩多次都无法找到比 $X_c$ 更好的点，表明寻优过程失败，程序仍回到步骤(2)重新搜索；

如果满足以下不等式

$$\frac{|F(X_0) - F(X_1)|}{|F(X_1)|} < \varepsilon$$

其中 $F()$ 即为目标函数，则说明迭代过程收敛， $X_1$ 为所求最优优点；否则令 $X_0 = X_1$ ，返回步骤(2)进行下一次搜索。

同时，为了加快收敛速度，可以在连续搜索成功时加大 $A_0$ ，而在连续失败时将 $A_0$ 减小。

自适应算法模块52完成预失真参数最优值的迭代搜索功能，还可通过以下具体迭代算法完成（参照图6）：设LUT表44共有N个参数，

将N个参数看作N维空间中一个点X的坐标，将反馈信号25的带外能量看作迭代的目标函数。首先，选择N+1个初始的点 $X_0, X_1, \dots, X_N$ ，求这N+1个点的目标函数值，即分别利用这N+1个点的N维坐标更新LUT表44，求N次反馈信号25的带外能量；

比较各点对应的目标函数值，设点 $X_H$ 为最坏点（即 $X_H$ 对应的目标函数值最高）， $X_B$ 点为稍差点（即 $X_B$ 对应的目标函数值比 $X_H$ 的稍低，比其它点的都高）， $X_L$ 为最好点（即 $X_L$ 对应的目标函数值最低），则将 $X_H$ 点相对于其它所有点作一次反射，得到新的点 $X_R$ ，公式如下：

$$X_R = 2X_C - X_H \quad \text{其中,}$$

$$X_C = (\sum_{i=0}^N X_i - X_H) / N$$

计算 $X_R$ 所对应的目标函数值, 如果比 $X_B$ 对应的目标函数值高, 证明 $X_R$ 点取得太远了, 需要压缩, 即要在 $X_H$ 和 $X_R$ 的连线方向上后退一些, 得 $X_S$ , 具体公式如下:

$$X_S = (1-l)X_H + l X_R$$

其中,  $l$ 为压缩因子, 它是0~1之间的一个常数。为了避免 $X_S$ 与 $X_C$ 的重合, 要求 $l$ 不能等于0.5 ( $X_S$ 与 $X_C$ 的重合会引起搜索空间维数降低, 不利于迭代)。

如果压缩后,  $X_S$ 对应的目标函数值仍然比 $X_B$ 对应的目标函数值高, 则将所有的点与最优点 $X_L$ 的距离都缩小一半, 返回步骤(2), 具体公式为:

$$X_i = (X_L + X_i) / 2, \quad \text{其中 } i = 1, 2, \dots, N$$

如果满足以下不等式:

$$\frac{|F(X_H) - F(X_L)|}{|F(X_L)|} < \varepsilon$$

其中 $F$ 即为目标函数, 则说明迭代过程收敛,  $X_L$ 为所求最优点; 否则, 用反射点取代最差点, 返回步骤(2)继续迭代。

本发明通过对信号进行与发信通道相反的非线性处理, 使整个发信通道呈现线性的特性。同时, 预失真系统还能够根据发信通道非线性特性的慢变化, 通过自适应算法调整预失真参数。该方法简化了硬件设计, 也避免了由于正交解调所引起的额外误差。

本发明的方法可用于矫正宽带发信通道非线性特性的自适应数字预失真, 适用于但不局限于对宽带GSM基站发信通道的非线性补偿。

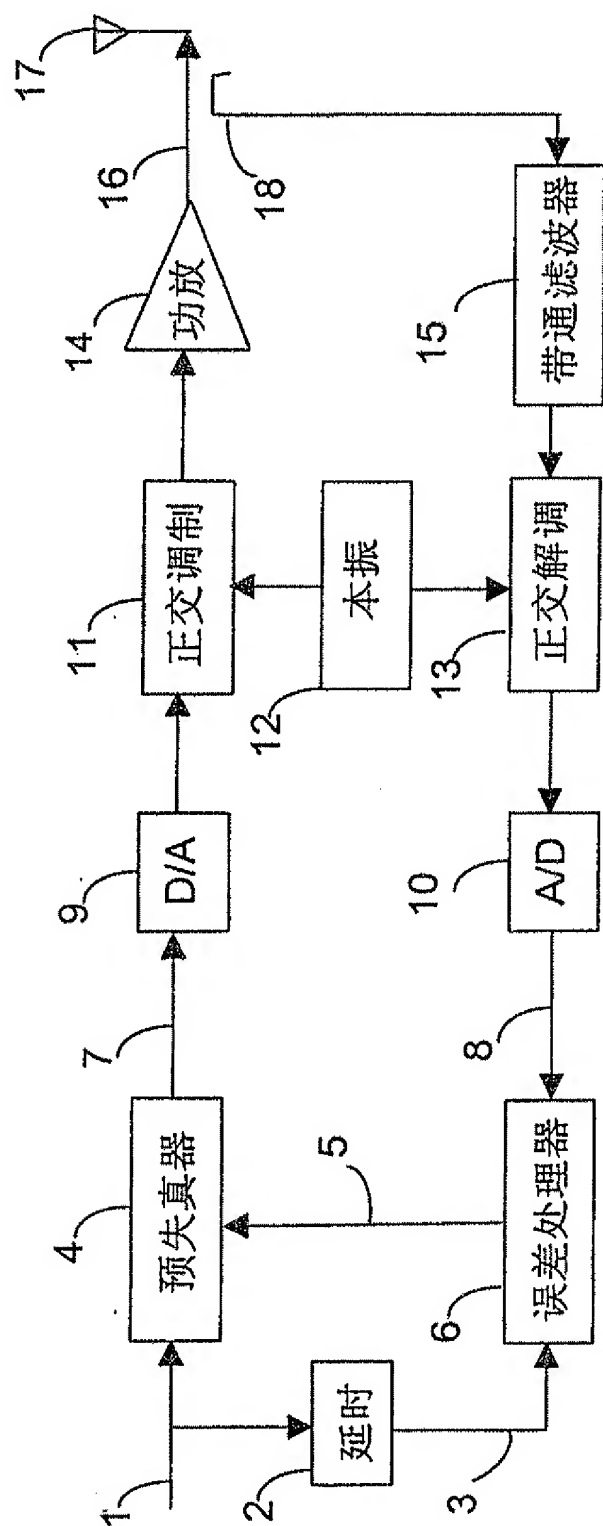


图 1



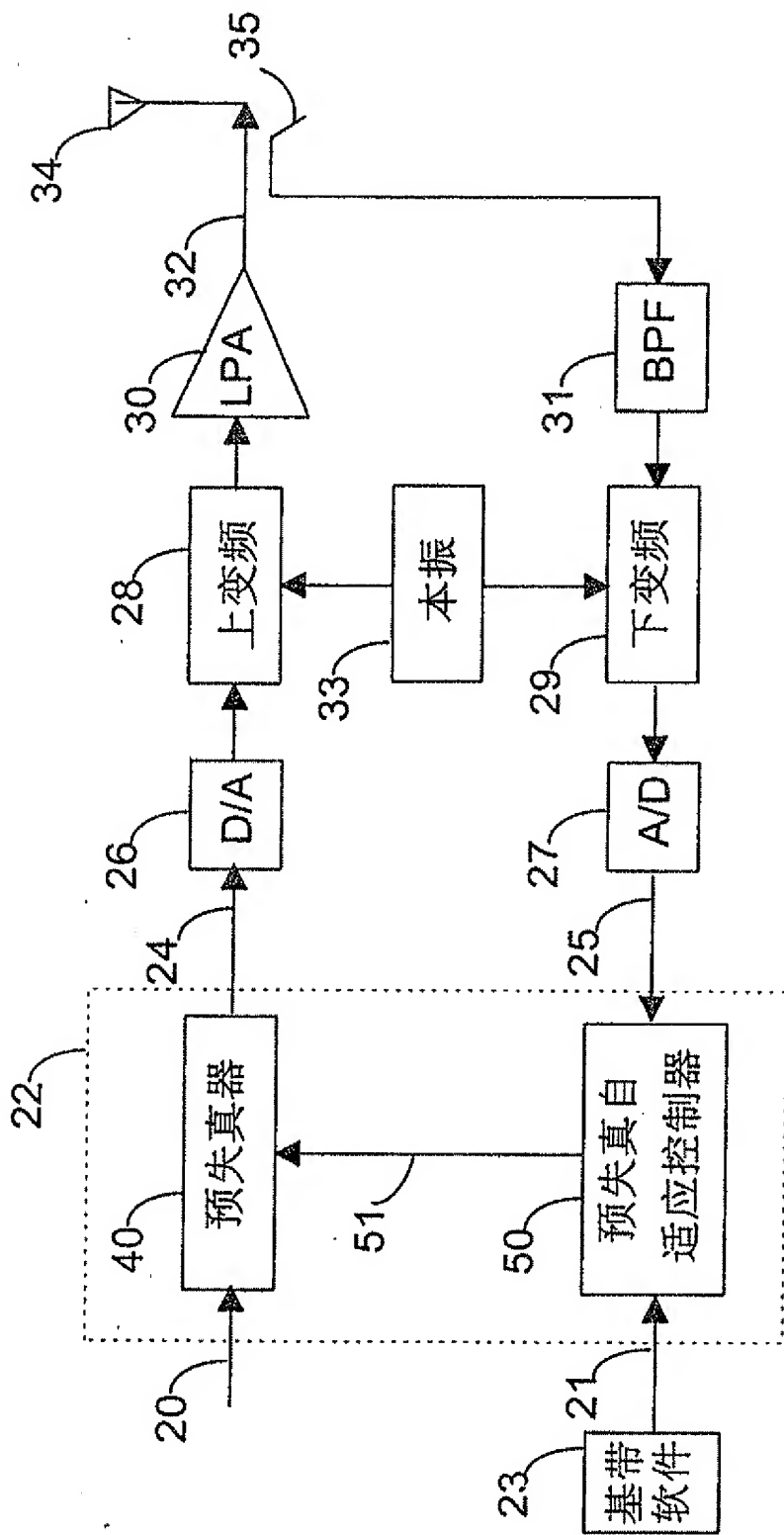


图 2

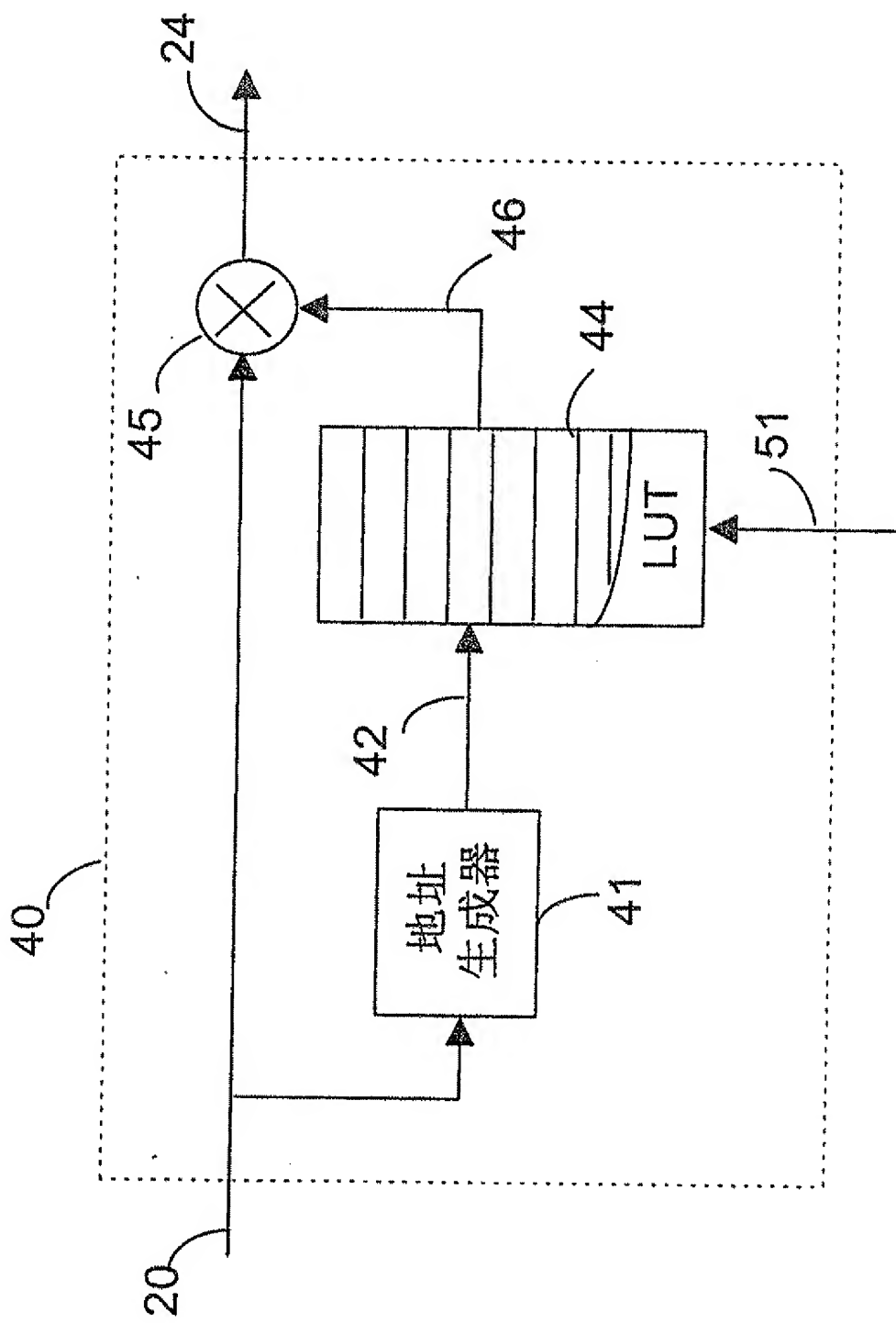


图 3

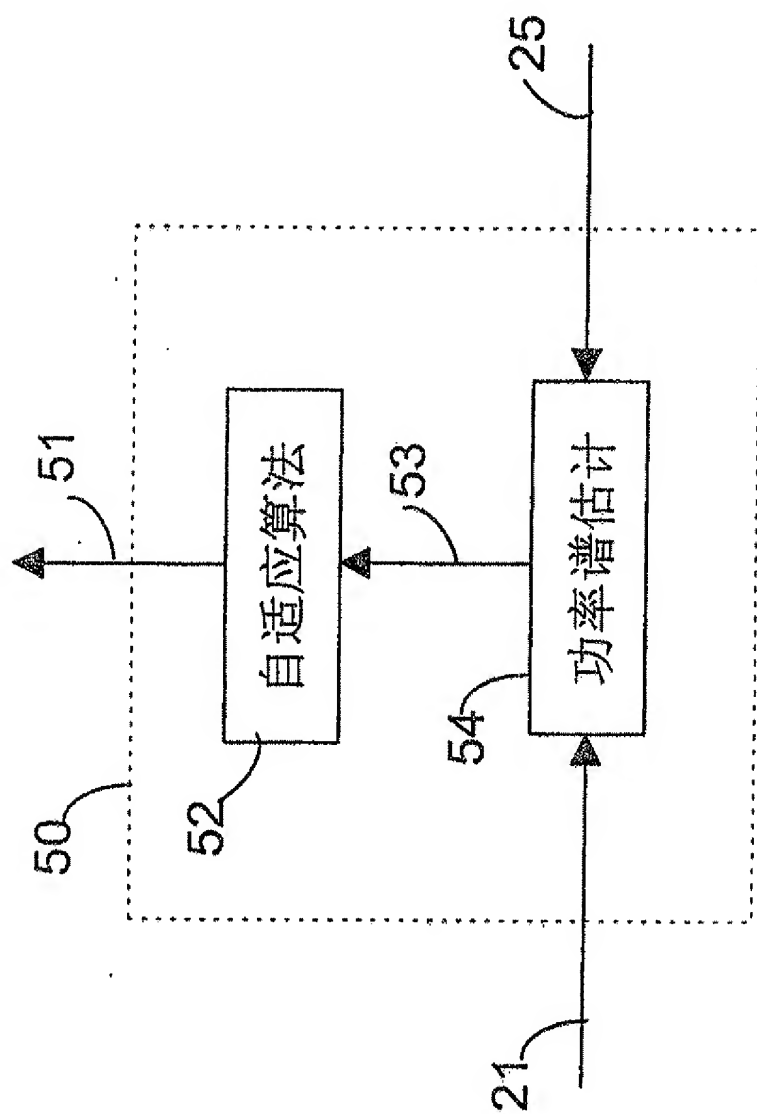


图 4

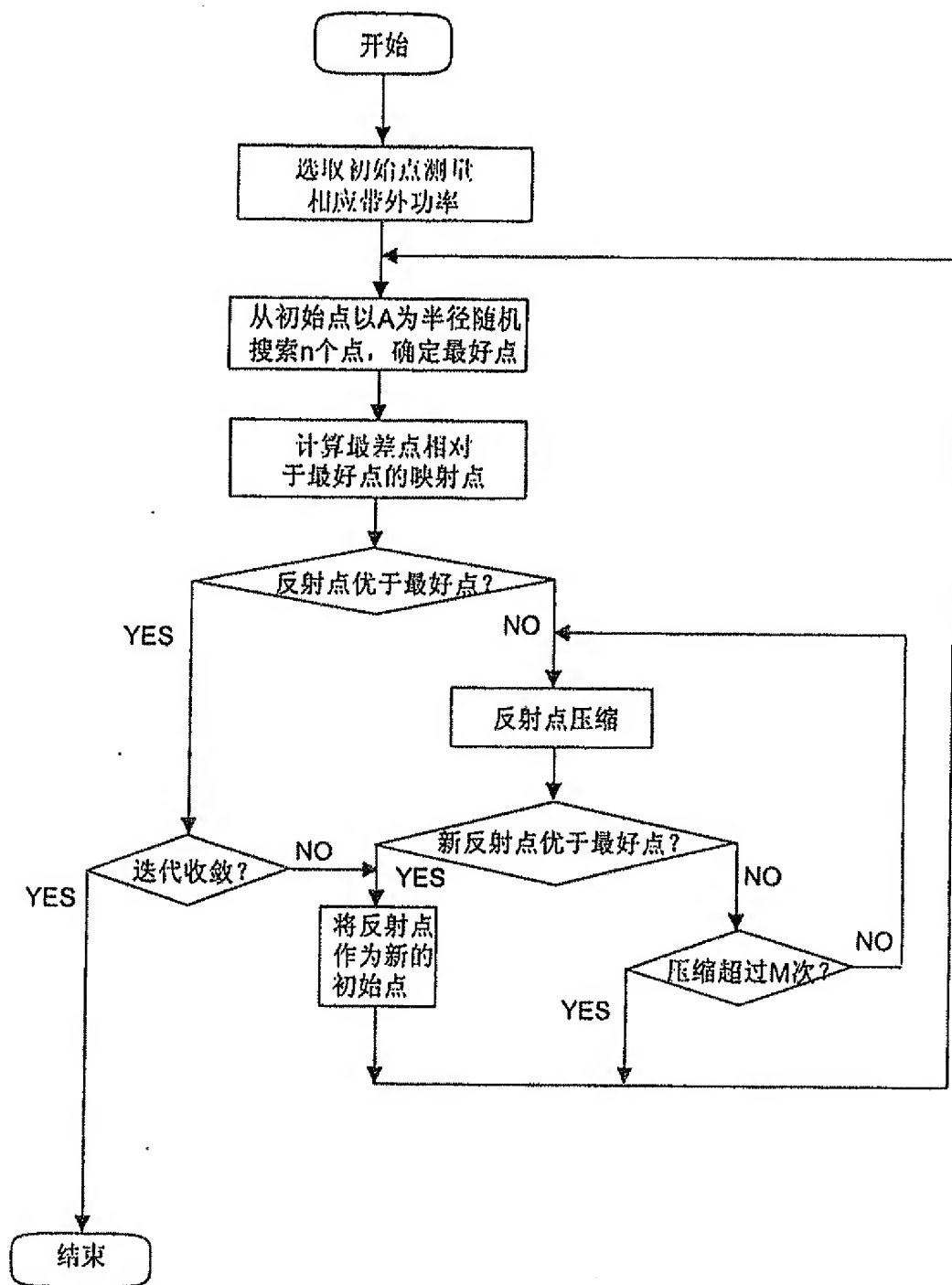


图 5

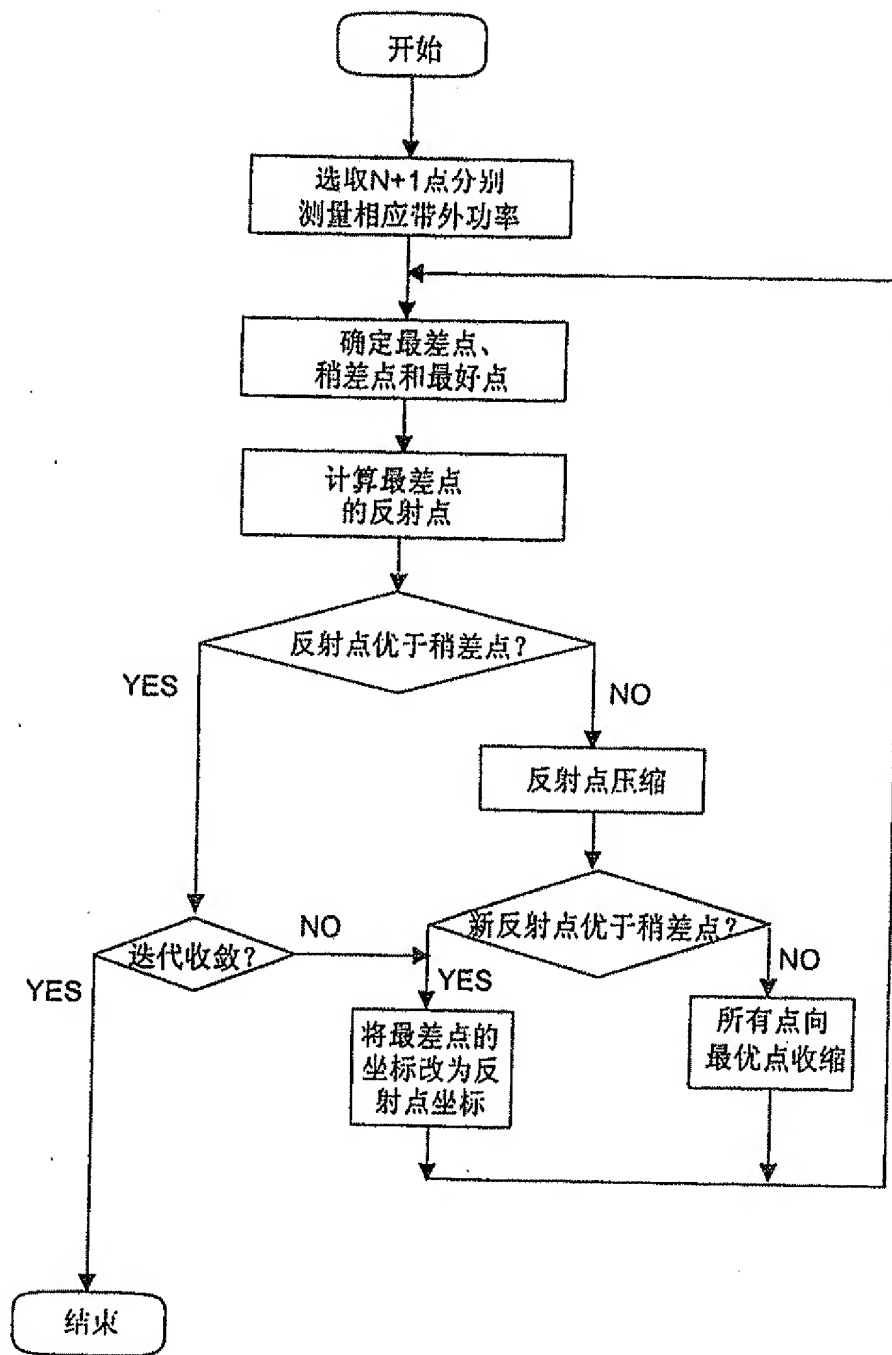


图 6